

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: B2612 – Elektronika a Informatika
Studijní obor: 2612R011 – Elektronické informační a řídicí systémy



Bakalářská práce

*Návrh a realizace řídicí jednotky výrobní linky
povrchových úprav plošných spojů*

*Design and implementation of control unit for
printed circuit boards production*

Autor:	Martin Huněk
Vedoucí práce:	Ing. Leoš Petržílka
Konzultant:	prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.

V Liberci 1. 5. 2013

Zadání

1. Nastudujte principy souvisejících výrobních technologií DPS.
2. Navrhněte tzv. Stand-Alone řídicí jednotku stroje pro cínování DPS.
3. Sestavte prototyp řídicí jednotky.
4. Odlad'te prototyp podle výrobních podmínek.

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. O právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem řídicí jednotky pro chemickou výrobní linku cínování desek plošných spojů za pomoci imerzního cínu. Při řešení jsem vycházel z předchozího bakalářského projektu „Řízení a automatizace technologické linky výroby DPS.“ Tento pak rozšiřuje o konkrétní realizaci výše zmíněné řídicí jednotky. Práci stavím na řešení pomocí jednočipového mikrokontroleru. Kromě toho práce dále obsahuje obvod hodin reálného času a komunikační modul sériové linky, i když je řídicí jednotka navržena tak, aby komunikace s počítačem nebyla nutná. Avšak díky vyvedeným sběrnicím (I²C a UART), je do budoucna možné řídicí jednotku například o nadřazený řídicí systém. Součástí dokumentace jsou i všechna schémata a návrhy desek, čímž je umožněna případná opakovaná výroba. V práci se rovněž věnuji bezpečnosti výsledného řešení, to jak po stránce softwaru, tak i po stránce hardwaru. Neopomínám ani otázku memory managementu, kde se věnuji využití jednotlivých typů pamětí umístěných v řídicí jednotce. Celou práci pak uzavírá shrnutí nákladů na výrobu jednotlivých součástí řídicí jednotky.

Klíčová slova: Automatizace, MCU, pohony, řídicí jednotka, návrh DPS

Abstract

This work deals with a problem of design and implementation of controller for chemical tin plating production line of printed circuit boards using an immersion tin. Solution of this problem is based on prior bachelor project called “Controlled technological line for production of PCB”. This thesis then expands prior project by the specific implementation of the above-mentioned control unit. It is built on the single-chip microcontroller. In addition, the thesis also includes real-time clock circuit and module serial communication lines, even when the control unit is designed in the way when communication with a computer is not required. However, due to terminated buses (I²C and UART) is possible to connect control unit to a SCADA system, in the future. The documentation also includes all schematics and board design, thus allowing any repetitive production. The paper also deals with the safety of the final solution, both on the software and the hardware level. There is also some consideration for the issue or memory management, which is implicated by the use of different types of memory installed in the control unit. Thesis is enclosed by summary of production costs of each part of the control unit.

Key words: Automation, MCU, drives, control unit, PCB design

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé práce za vstřícný a trpělivý přístup a za rady ohledně realizace. Rovněž bych touto cestou chtěl poděkovat i dalším lidem, kteří mi poskytli cenné rady, či jakkoliv přispěli k realizaci této práce.

Martin Huněk

Obsah

Zadání	2
Prohlášení.....	3
Abstrakt.....	4
Abstract.....	4
Poděkování.....	5
Obsah	6
Seznam obrázků	8
Seznam tabulek	8
Seznam symbolů, zkratek a termínů	8
1. Úvod.....	9
2. Dosavadní stav stroje.....	10
3. HW část řešení.....	11
3.1 Modulární koncepce.....	11
3.2 Pohony	12
3.3 Proudové zesílení řídicích výstupů	13
3.4 Nouzové zastavení motorů při mimořádné události.....	13
3.5 Mikrokontroler	14
3.6 Obvod koncových spínačů	15
3.7 Obvod hodin reálného času.....	15
3.8 Silový obvod k ovládání ventilu	16
3.9 Obvody pro interakci s obsluhou	16
3.10 Zdroj pro řídicí jednotku	18
3.11 Komunikační modul.....	19
3.12 Původní návrh	20
3.13 Konečný návrh	21
4. SW část řešení	23
4.1 Ovládání	23
4.1.1 Struktura uživatelského prostředí.....	23
4.1.2 Nastavení času jednotlivých kroků	25
4.1.3 Obrazovka automatického řízení.....	25
4.2 Mechanismus nouzového zastavení	26
4.3 Memory management.....	27
4.4 Ovládání obvodu RTCC.....	29
5. Shrnutí nákladů.....	30
Závěr	32
Citovaná literatura.....	33
Dodatek A: Schéma řídicí jednotky	34
Dodatek B: Schéma komunikačního modulu.....	35

Dodatek C: Schéma zdroje pro řídicí jednotku	36
Dodatek D: Schéma ovládacího modulu	37
Dodatek E: Uživatelské rozhraní	38

Seznam obrázků

Obrázek 1: Stroj na cínování před úpravami.....	10
Obrázek 2: Modulární koncepce	12
Obrázek 3: Návrh modulu reálného času	16
Obrázek 4: Návrh desky ovládacího modulu	17
Obrázek 5: Návrh zdroje pro řídicí jednotku	19
Obrázek 6: Návrh desky komunikačního modulu pro RS-232E	20
Obrázek 7: Původní návrh řídicí jednotky	21
Obrázek 8: Finální verze návrhu řídicí jednotky	22
Obrázek 9: Struktura uživatelského prostředí	24
Obrázek 10: Nastavení času jednotlivých kroků	25
Obrázek 11: Obrazovka automatického řízení	26
Obrázek 12: Obrazovka nouzového zastavení	27

Seznam tabulek

Tabulka 1: Organizace paměti	28
Tabulka 2: Cena realizace jedné řídicí jednotky (ceny v CZK bez DPH).....	30
Tabulka 3: Cena realizace jednoho komunikačního modulu (ceny v CZK bez DPH)	30
Tabulka 4: Cena realizace jednoho zdroje (ceny v CZK bez DPH)	31
Tabulka 5: Cena realizace jednoho řídicího modulu (ceny v CZK bez DPH)	31

Seznam symbolů, zkratk a termínů

AC:	Střídavý (proud, napětí)
A/D:	Analogově/číslicový
AND:	Operace logického součinu
BiCMOS:	Kombinace bipolárních a unipolárních obvodů na jednom obvodě
CMOS:	Typ logických obvodů, základ tvořený dvojicí MOSFET tranzistorů
CZK:	Mezinárodní označení české Koruny
DC:	Stejnoseměrný (proud, napětí)
DPS:	Desky plošných spojů
EEPROM:	Elektricky mazatelná programovatelná paměť
FLASH:	Zdokonalená paměť typu EEPROM
GPIO:	Obecně použitelné vstupně/výstupní piny
HD44780:	Typ řadiče pro znakové displaye
ICSP:	Rozhraní pro sériové programování MCU v cílovém zapojení
I ² C, SPI:	Sériové sběrnice
LCD:	Display s kapalnými krystaly
LS a HCT:	Technologie výroby logických hradel
LTTL:	Nižší napěťové úrovně TTL (0–3,3 V)
MCU:	Mikrokontrolér
MOSFET:	Typ unipolárního tranzistoru, s buďto indukovaným nebo pevným kanálem
NAND:	Invertovaná funkce AND
NOT:	Operace bitové negace
PLC:	Programovatelný logický automat
PWM:	Pulzně-šířková modulace
RS-232E:	Sériová sběrnice, používá konektor DE-09/DB-09, aktuální standard TIA-232-F
RTCC:	Hodiny reálného času s kalendářem
SRAM:	Statická paměť s náhodným přístupem
STEP/DIR:	Typ ovládání motoru, jeden pin určuje kroky motoru, druhý směr
TTL:	Tranzistorově-Tranzistorová logika, logické úrovně 0–5 V
UART:	Asynchronní sériový vysílač/přijímač

1. Úvod

Práce je rozdělena na dvě části. První část se zabývá hardwarovou částí řešení, druhá pak částí softwarovou.

Práce se naopak nezabývá mechanickou realizací stroje ani nástavbou elektrických pohonů. Rovněž si neklade za cíl porovnávání jednotlivých možných řešení. Touto otázkou se již dostatečně zabýval bakalářský projekt, na který moje práce navazuje. Tento projekt je uveden na konci v seznamu použité literatury a je k dispozici online.

Realizace bude uvažovaná do budoucna jako modulární s možností rozšíření o další funkce. Mezi uvažovaná rozšíření lze počítat například komunikaci pomocí sériové linky RS232, kontinuální měření teploty v lázních či nadřízený řídicí systém.

2. Dosavadní stav stroje

V současné chvíli je cínování desek v laboratoři teprve ve stádiu zavádění do výroby jakožto nového technologického procesu. Jedná se proto o technologii, která má sice známý technologický postup výroby a patří mezi běžně používané, avšak která před počátkem řešení řídicí jednotky nebyla v místních podmínkách prozatím otestována.



Obrázek 1: Stroj na cínování před úpravami

Jak je vidět na obrázku, je stroj zatím bez nástavby, kterou by bylo možno ovládat.

Smyslem je možnost provádění automatické výměny desek plošných spojů mezi vyobrazenými lázněmi a to bez zásahu obsluhy během výrobního procesu. Obsluha by měla do procesu zasahovat pouze na jeho začátku a konci tím, že připevní nebo odepne výrobní panel. To jí umožní se během samotného výrobního procesu věnovat jiným věcem.

3. HW část řešení

Od výsledného řešení uvedeného v citovaném bakalářském projektu došlo k několika změnám. Změny se dotkly jak návrhu řídicí části, tak části pohonů. Jako pohony byly zvoleny dva krokové motory pro obě poháněné osy.

3.1 Modulární koncepce

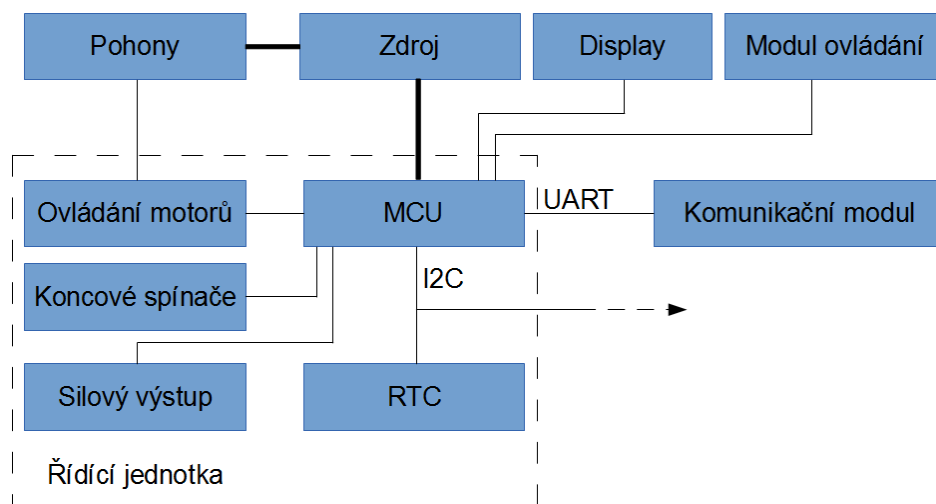
Práci jsem se rozhodl koncipovat modulárně, což se nakonec sice poněkud minulo s představou vedoucího, ale o tom později. Důvodem tohoto mého rozhodnutí bylo jak podstatné zjednodušení návrhu z důvodu řešení malých a relativně jednoduchých celků, které se ve vývoji navzájem neovlivňují, tak důvod jejich možné zaměnitelnosti a zvýšené variability. S tím je spojená vyšší životnost zařízení vzhledem k možným změnám požadavků.

Výhody abstrakce při vývoji byly patrné hlavně v počátečních fázích vývoje. Tehdy ještě nebylo zcela jasné, jaké komponenty budou pro jednotlivé úkoly využity. Příkladem mohou být například drivery, jejichž přesný typ byl rozhodnut až v pozdější fázi vývoje řídicí jednotky. V prvotní fázi vývoje bylo pouze známo použití driverů s řízením typu STEP/DIR pomocí pulzů ve hladinách TTL s tím, že na vstupu budou optočleny. Rovněž nebylo přesně stanoveno frekvenční pásmo výstupního signálu, byla uvažována hodnota maximální frekvence pravděpodobně kolem 10 kHz.

Takovéto informace při návrhu obecně stačí a není tedy potřeba v této fázi vědět, jaké přesně zde bude použité zařízení. Z těchto informací lze snadno vyčíst, že proudové zatížení výstupu řídicí jednotky bude patrně díky optočlenům potřeba dimenzovat na trvalý proud 15 mA s možnými výkyvy na dvounásobné hodnoty a s délkou pulzu v desítkách nanosekund. Rovněž je možné vyčíst, že spoje lze navrhovat jako nízkofrekvenční a není tedy nutné počítat s dodržením vlnových impedancí po celé délce spoje. Jelikož však nebylo frekvenční pásmo stanoveno přesně, je nutné výstupy v otázce maximální frekvence dostatečně naddimenzovat (později se ukázalo, že maximální frekvence na vstupu driverů při střídě 50 % je zhruba 80 kHz).

Obdobným způsobem lze postupovat i u ostatních částí potřebných pro řídicí jednotku. Vždy bylo nutné si projít jednotlivá rozhraní, potřebné pro jednotlivé komponenty, napájecí proudy, napěťové úrovně, proudová zatížení, frekvenční spektra a z toho všeho vyplývající návrhová pravidla. Všechny další vývoj se pak soustředil na řešení jednotlivých dílčích úkolů v rámci předem stanovených pravidel. Proto odpadla práce se vzájemným ovlivňováním jednotlivých částí. Stalo se tak za cenu potřeby mírného naddimenzování rozhraní, aby byla docílena dostatečná variabilita, a možná i za cenu mírně vyšší prostorové náročnosti. Tak tedy

došlo k vytvoření modulů s definovaným rozhraním, které jsou v mezích těchto rozhraní zaměnitelné.



Obrázek 2: Modulární koncepce

Celou práci jsem pak rozdělil na celkem deset modulů. Z nich modul pohonů je tvořen z krokových motorů a driverů (oba nejsou tvořeny mnou a z pohledu práce tvoří pouze jeden modul) a modul ovládání. Ten je tvořen ze dvou typů ovládacích prvků a jim odpovídajících dvou konektorů (opět z pohledu práce tvoří pouze jeden celek). V dalších kapitolách pak jsou podrobněji popsány jednotlivé moduly.

3.2 Pohony

Jak jsem již zmínil výše, pro obě osy byly zvoleny krokové motory. Toto je změna oproti řešení uvedeném v projektu, kde jsem preferoval pneumatické řešení pohonu vertikální osy. K volbě krokových motorů bylo přistoupeno zejména kvůli absenci vhodného zdroje stlačeného vzduchu v místnosti nebo případných rozvodů stlačeného vzduchu po laboratoři. Krokové motory se pak na rozdíl od dvojčinného válce vyznačují snazší regulací polohy mimo krajní body rozsahu.

Motory byly zvoleny pro obě osy stejné. Jedná se o SANYO DENKI typ 103H7126-0740. Velikost kroku je $1,8^\circ$, proud maximálně 3 A DC a krouticí moment maximálně 1,27 Nm. Oba motory jsou pak zapojeny na drivery LEADSHINE DM422C. Drivery umožňují mikrokrokování 8x, 16x a 32x. Tedy 1600, 3200 a 6400 kroků na otáčku motoru.

Jinými slovy, co se týče požadavků na řídicí signál pro drivery, lze při maximální frekvenci 10 000 pulzů za sekundu a osminásobném mikrokrokování počítat s frekvenčním pásmem do 80 kHz na výstupu z řídicí jednotky (omezení vychází z technických specifikací

motoru) a s mikrokrokováním 8x počítat s frekvenčním pásmem do 80 kHz. Napětíové úrovně by měly přitom odpovídat pásmům TTL. Řízení driverů probíhá systémem STEP/DIR, což při dvou takto ovládaných motorech klade požadavek na minimálně čtyři výstupní piny.

3.3 Proudové zesílení řídicích výstupů

Vzhledem k tomu, že konkrétní typ driverů byl vybrán až v průběhu návrhu, bylo nutné řídicí výstupy jednotky dostatečně proudově naddimenzovat. Rovněž bylo žádoucí, aby v případě zkratu nedošlo k poškození MCU. Vzhledem k malé šířce požadovaného frekvenčního spektra nebylo nutné brát v úvahu rychlost zvoleného obvodu.

K proudovému zesílení bylo možné použít bipolární či unipolární tranzistory, nebo logická hradla. Logická hradla přinášela možnost blokování řídicích signálů v případě mimořádné události, avšak přinášela i nevýhody, hlavně v podobě nižšího výstupního proudu. Tato nevýhoda byla zvláště patrná u obvodů rodiny CMOS, jejich zatížitelnost vykazuje dokonce výrazně horší parametry, než MCU. Naproti tomu obvody TTL výrazněji staticky zatěžují MCU, jsou méně efektivní a nejsou běžně k dostání. Kdybychom použili pouze tranzistory, nezajistíme výstupní úroveň napětí v požadovaném pásmu, realizování logických funkcí je pak jak z prostorového hlediska, tak z hlediska návrhu komplikovanější.

Při výběru řešení nakonec padla volba na logické hradlo 74ABT08D od NXP. Důvodem byla jak technologie ABT (Advanced BiCMOS, TTL kompatibilní), která umožňuje vyšší proudové zatížení, než například technologie LS a HCT, je však zachováno jak frekvenční pásmo, tak i dostupnost u dodavatele za přijatelnou cenu. Hradlo AND jsem zvolil kvůli možnosti snadné blokace řídicích signálů k driverům motoru při mimořádné události. Bylo by možné použít i hradlo NAND, ale z pozdějších fází vývoje vyplynulo, že bude výhodnější ponechat při blokaci na výstupu nízkou úroveň napětí.

3.4 Nouzové zastavení motorů při mimořádné události

K tomuto prvku jsem se rozhodl z důvodu bezpečnosti. I když zvolené pohony by neměly způsobit obsluhu újmu na zdraví, může se do budoucna hodit možnost blokace pojezdů. Bude tak možné například rozšířit stroj o světelné závory, tlačítka pro zastavení stroje, detekci uzavření lázní, či nadřazený systém s možností blokování.

Realizace pak počítá s rozpínacími kontakty zřetěženými do série, jak je tomu například u tlačítek TOTAL STOP. Blokování je pak realizováno ve třech úrovních.

První úroveň je mechanismus přerušení v MCU, který má přidělenou nejvyšší prioritu. Mělo by tak dojít k vykonání přerušení v jakékoli části programu. V přerušení je pak

realizováno samotné zastavení PWM modulátorů, pomocí nichž je řízení realizováno (podrobněji viz. SW část řešení).

Druhou úroveň je hradlo AND na výstupu řídicích signálů z desky jednotky. Tímto jsou blokovány signály STEP k oběma driverům. Výstupy DIR blokovány nejsou, ale ty nezpůsobují samotný pohyb motorů, takže jsou z hlediska mimořádné události nepodstatné.

Třetí úroveň jsem realizoval pomocí vyvedení signálu od uvažované signalizace mimořádné události (na desce značen STOP) na piny ENABLE obou driverů. Signál STOP je tedy aktivní na nízkou úroveň napětí, zajištěnou v chybovém stavu pomocí PULL-DOWN rezistoru, stačí tak tedy připojit pouze odpínací tlačítko s aretací a je realizován základ nouzového zastavení. Naopak při ladění a úpravách programu je možné připojit spínací tlačítko bez aretace a eliminuje se tak možnost poničit stroj například v důsledku chyby v programu. Díky zvolenému tříúrovňovému blokování je pohyb stroje po ohlášení mimořádné události pomocí signálu STOP takřka nemožné. Musely by totiž selhat všechny tři úrovně zabezpečení.

Je však nutné upozornit, že všechna zařízení zůstávají po přerušení propojky STOP pod proudem. Nejedná se tedy o plnohodnotný TOTAL STOP, ale pouze o zastavení obou motorů. Pro funkci TOTAL STOP by bylo nutné stroj dovybavit stykačem a rozpínací tlačítko TOTAL STOP s aretací připojit do obvodu cívky. Potom by bylo možné propojku STOP spojit permanentně a zamezit tak možnosti chyb v důsledku neplánovaného rozpojení, případně signál STOP využívat jen v případech testování programu.

3.5 Mikrokontroler

Jako MCU jsem oproti projektu použil dsPIC30F3014, který na rozdíl od původně plánovaného sice nedisponuje remapovatelnými piny, ale zato je schopen pracovat v širokém rozmezí napájecích napětí (v pásmu 2,5-5,5 V). Absence remapovatelných pinů se sice projevila na vyšší náročnosti návrhu desky, ale záměna se rozhodně vyplatila. Nebylo totiž nutné řešit problémy s různými napěťovými úrovněmi na procesoru, displayi a driverech (zde byla podmínkou úroveň signálů TTL). Problém by mohl nastat hlavně s displayem, originální specifikace HD44780 totiž počítá s úrovněmi TTL a tak by nemuselo dojít k dosažení dostatečné úrovně napětí k rozpoznání vysoké úrovně.

Pouzdro MCU jsem na konec zvolil obstarožní DIP40. Vzhledem k tomu, že se jedná o prototyp tak je, dle mého názoru, vhodné mít možnost snadné výměny pro případ poruchy. Pouzdro PLCC se u tohoto typu MCU nenabízí. Pouzdra QFN a TQFP, které jsou u tohoto typu k dispozici, snadnou výměnu neumožňují a pouzdro QFN se navíc velmi špatně pájí pomocí ruční páječky. Ani kvůli prostorovým podmínkám není nutná nějaká extrémní minimalizace.

Pouze v případě, že by se vyráběla vícekusová série v následné výrobě, tak bych použil nejspíše TQFP pouzdro, z důvodu ceny, a to jak MCU, tak desky (nižší potřebná plocha).

Konkrétní typ jsem kromě již zmíněné výhody vybral dle následujícího klíče. ICSP rozhraní pro programování v koncové aplikaci kompatibilní s programátorem PicKit2 (tento programátor vlastním, jedná se tedy o úsporu nákladů na vývoj), 16b nebo 32b architektura, sběrnice I²C (pro obvod RTC a budoucí rozšíření), minimálně dva kanály PWM, pouzdro typu DIP nebo PLCC a minimálně 30 vstupně-výstupních pinů. Výsledkem hledání se zadanými parametry byly pouze čtyři MCU, z nichž pouze dva byly k dostání ve zvoleném pouzdře. Byly to dsPIC30F3011 a zvolený typ dsPIC30F3014, který má dvojnásobek paměti programu a je navíc paradoxně levnější.

3.6 Obvod koncových spínačů

Jelikož jsou koncové spínače vyvedeny mimo krabici řídicí jednotky, byla požadována nějaká forma ochrany vstupních pinů MCU. K tomuto účelu jsem zvolil obvod Avago ACTS6420, který je původně určený ke galvanickému oddělení sběrnic. Jistě by bylo možno namítnout, že se pro tento účel jedná o pomyslný kanón na vrabce, ale levnější čtyřnásobný optočlen s číslicovým výstupem jsem nesehnal.

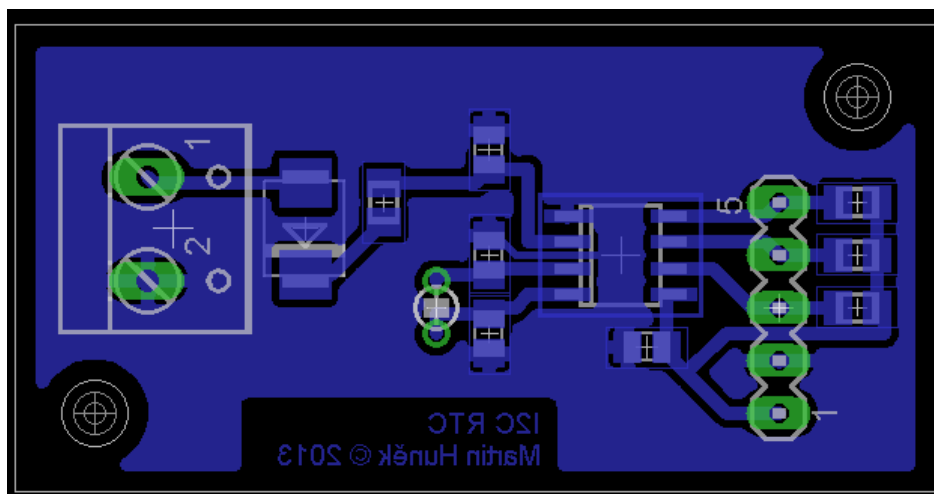
Z důvodu pouzdra začínal být problém s počtem vstupně-výstupních pinů. Bylo nutné tedy šetřit. To je důvod, proč jsem přikročil ke sloučení signálů z koncových spínačů. Toto sloučení mělo navíc ještě jeden pozitivní vliv a to na SW konstrukci programu. MCU má totiž celkem pouze tři piny externího přerušení. O jednom pinu jsem již psal v souvislosti s blokací motorů při mimořádné události. Jeden pin jsem rezervoval pro zařízení na I²C sběrnici, které fungují ve SLAVE módu (na desce řídicí jednotky obvod RTCC). Poslední pin, vybavený mechanismem externího přerušení, jsem tedy použil pro sloučené koncové spínače. Toto opatření umožňuje odchyťovat najetí stroje na koncový spínač jako mimořádnou událost. Zabrání to možnému poškození stroje a případné ztrátě informace o jeho aktuální poloze. Rovněž umožní ošetření tohoto stavu mimo hlavní smyčku programu (viz. SW část řešení).

Samotné sloučení signálů koncových spínačů probíhá pomocí diodové logiky. Konkrétně se jedná o čtyřvstupý AND. Optočlen v sobě obsahuje na výstupu logický NOT, přerušení tedy bude aktivní při přivedení vysoké úrovně napětí na vstup koncového spínače (na vstupech MCU bude nízká úroveň napětí).

3.7 Obvod hodin reálného času

Na původním návrhu desky jsem obvod RTC neumísťoval, počítal jsem s ním jako s doplňkovým modulem. Na popud vedoucího práce jsem obvod na desku integroval. MCU sice

obvod RTC má, ale z důvodu úspory energie při možném provozu na baterie jsem se rozhodl jej nevyužít. Musel bych totiž napájet celý procesor.



Obrázek 3: Návrh modulu reálného času

Naproti tomu použitý obvod hodin reálného času MCP79410 v sobě obsahuje již vše potřebné pro vyhodnocení napájení a v případě poklesu napětí přejde na bateriový provoz. Obvod dále obsahuje dva časové alarmy, o kterých může dávat vědět MCU pomocí výstupního pinu. Ten je přiveden přes diodu na vstup externího přerušení, to umožňuje ho využít pro případná další zařízení. Je proto vyveden na stejný konektor, jako I²C sběrnice. Zmíněné alarmy pak používám k měření času stráveného v jednotlivých láních. To umožňuje, aby procesor běžel v úsporném režimu a tímto alarmem byl probuzen. Z RTCC obvodu je pak možné získat informaci, který z alarmů byl aktivován. Pokud by bylo na I²C sběrnici připojeno více zařízení, je pak možné všechna takto připojená zařízení obeslat s dotazem, zda přerušení odeslalo dané zařízení. Zbytek zapojení je pak převzato z dokumentace k RTC (kromě samotného návrhu plošného spoje).

3.8 Silový obvod k ovládání ventilu

Zde se opět jedná o převzaté schéma zapojení. Jedná se o triak spouštěný optotriakem bez ZERO CROSSING obvodu. Triak je schopen spínat až 16 A ~ 400VAC, ale šířka spojů dovolí spínání maximálně 10 A. Pro případ potřeby je možné optotriak vyměnit za jiný s obvodem spínání v nule. Zvolený optotriak zcela dostačuje pro potřeby spínání ventilu s proudem maximálně v řádu desítek mA. Při větším zatížení je však již nutné uvažovat o chladiči na triaku.

3.9 Obvody pro interakci s obsluhou

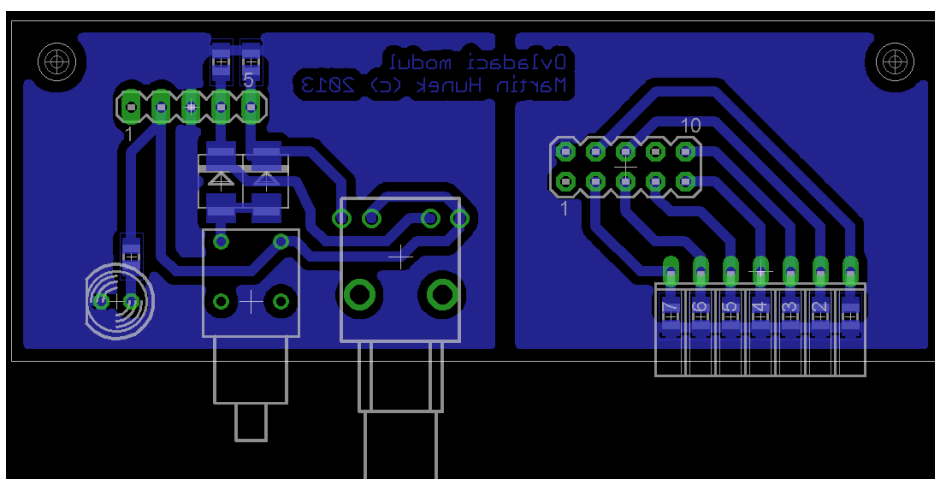
V rámci interakce s obsluhou bylo nutné se zabývat jak signalizací, tak ovládacími

prvky. Dále bylo záhodno se zabírat i možností vzdálené signalizace a vzdáleného řízení. A to přes to, že s nimi není pro úvodní fáze vývoje řídicí jednotky počítáno.

Pokud se jedná o lokální signalizaci, práce se opírá hlavně o znakový display. Tento byl zvolen pro svou jednoduchost, co se týče jeho řízení, dobrou dostupnost a dobrou čitelnost (v případě zvoleného typu s bílým podsvícením na modrém pozadí). Bylo pochopitelně možné zvolit i display grafický, ale vzhledem k tomu, že se nepočítá s možností vizualizace výrobního procesu na řídicím panelu, vyhodnotil jsem jeho použití jako zbytečné. Tím více by byl zbytečný barevný grafický display, který by navíc zabral i více vstupně/výstupních pinů.

Dalším signalizačním prvkem je pak i zvukový měnič. Jeho úloha je hlavně v přivolání obsluhy ke stroji po dokončení výrobního cyklu. Výrobní část laboratoře totiž není koncentrována pouze do jedné místnosti. To je také důvodem pro vyvedení signalizace i na výstup desky řídicí jednotky. Je tak totiž počítáno s vyvedením zvukové signalizace do ostatních místností laboratoře. Tím pak nevznikají prostoje ve výrobním procesu. Pro podrobnější informace odkazuji na předešlý projekt, kde je tato problematika probrána podrobněji.

Ovládání pak je v rámci této práce řešeno pouze lokální. To konec konců vychází i ze samotného zadání, kde se po mě žádá vytvoření STAND-ALONE řídicí jednotky. Uvědomuji si však, že do budoucna by mohla být možnost vzdáleného řízení žádoucí. To hlavně ve smyslu vzdáleného řízení ohřevu lázní. Pro samotné řízení pohonů však možnost proces spouštět na dálku postrádá smysl. Důvodem pro mé tvrzení je nutnost manuální výměny vyráběných desek. Bylo totiž rozhodnuto, že jejich automatická výměna nebude realizována.



Obrázek 4: Návrh desky ovládacího modulu

Samotné lokální ovládání stroje je pak koncipováno pomocí třech ovládacích prvků. Prvními dvěma jsou pulzní otočný ovladač a tlačítko. Zvolil bych ovladač s integrovaným

tlačítkem, ale u dodavatele nebyl k dostání. Toto rozdělení by ale dle mého názoru nemělo mít vliv na komfort obsluhy. Dohromady tyto dva prvky tvoří základ ovládání stroje. Otočný ovladač slouží k výběru a modifikaci vybrané hodnoty a tlačítko k potvrzení výběru a potvrzení modifikované hodnoty. Obdobný princip ovládání je například používán u většiny současných zdravotnických přístrojů. To je důvodem, proč je možné předpokládat, že bude dostatečně intuitivní pro téměř jakoukoliv obsluhu. Až na opětovné použití diodové logiky z důvodu nedostatku vstupně výstupních pinů se jedná pouze o propojení ovládacích prvků s patřičnými konektory.

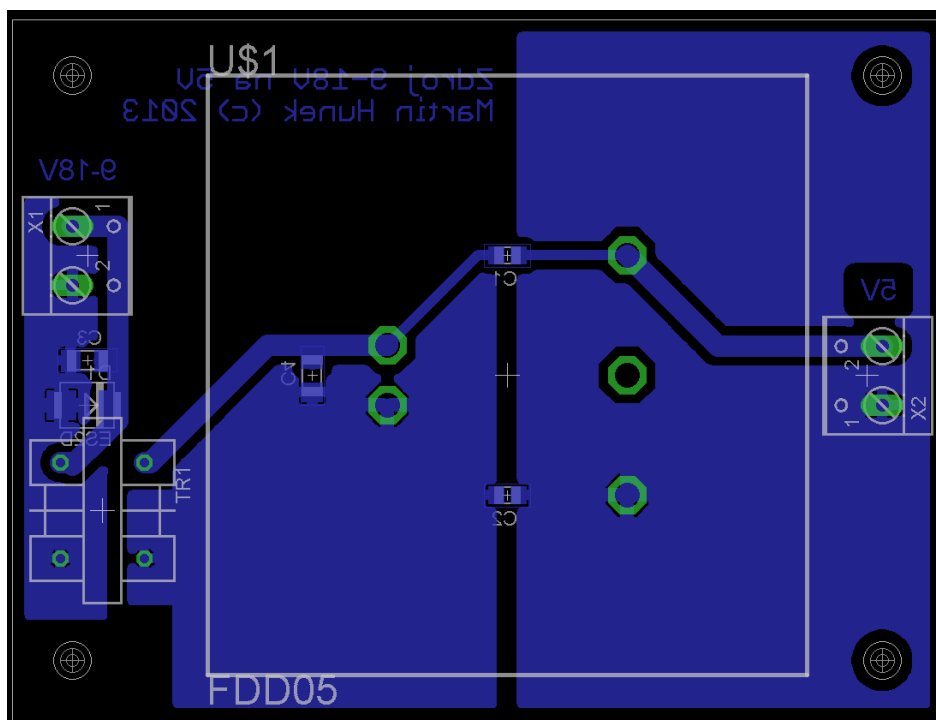
Pokud jde o možnosti budoucího vzdáleného řízení, je možné jednotku přepnout do režimu I²C SLAVE pouze změnou programového kódu. Tím by bylo umožněno řízení jiným nadřazeným systémem nebo například připojení na minipočítač RASPBERRY PI, který je vybaven vyvedenou I²C sběrnici.

Jednotka je zkrátka navržena tak, aby bylo možné ovládací část kdykoliv vyměnit či rozšířit v závislosti na budoucích potřebách laboratoře.

3.10 Zdroj pro řídicí jednotku

O samostatném zdroji pro řídicí jednotku bylo nutné uvažovat proto, že zdroj pro motory, který měla laboratoř k dispozici, neobsahuje 5V napájecí větev. Rovněž by nebylo zcela příhodné používat externí adaptér, jelikož by tak vznikly dva přívody napájecího napětí ke stroji. To by mohlo mít negativní vliv v podobě komplikací při možné realizaci funkce TOTAL STOP. Mohlo by se tak stát při špatném zapojení, kdy by mohla být od přívodního napájení odpojena pouze část stroje a to by při současné chybě údržby mohlo vést ke zkratu a tedy možnému poškození stroje.

Napájení pro řídicí desku bude zajištěno pomocí vyráběného zdroje, který bude zapojen na 12V větev zdroje pro motory. Tímto bude tedy eliminován další možný přívod síťového napětí a tedy i možných problémů s tím spojených.



Obrázek 5: Návrh zdroje pro řídicí jednotku

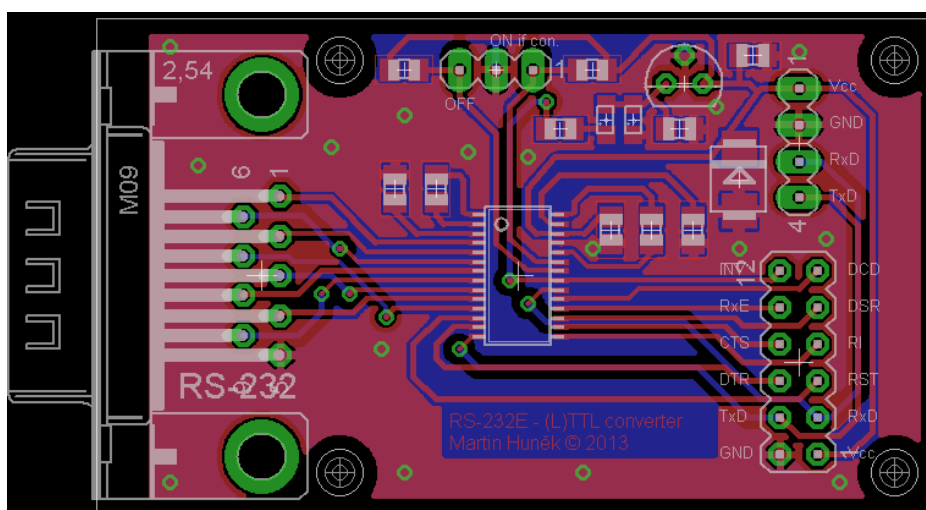
Návrh je postaven na spínaném zdroji o celkovém výkonu 5 W. Je tedy při jmenovitém napětí 5 V schopen poskytnout řídicí jednotce a všem perifériím proud až 1 A. Uvědomuji si, že je takovýto proud poněkud naddimenzován, ale nehrozí tím propad napětí při dosažení maximálního proudu. Druhým důvodem byla nedostupnost zdroje s výkonem bližším maximálnímu proudovému odběru řídicí jednotky.

Díky tomuto zdroji došlo k rozšíření napájecího rozsahu ze 4,5–5,5 V na 9–18 V. S tím, že zdroj je funkční i pod daným rozsahem, zde však může docházet k výpadkům v závislosti na zátěži. Při orientačních měření jsem zjistil, že při zatížení samotnou řídicí jednotkou zdroj vykazuje stabilní chování, až do napětí 6,5 V. Ještě je nutné zmínit, že umístěním zdroje na samostatnou desku vznikla možnost zdroj vyměnit. To umožňuje při použití jiného zdroje provoz celku i na jiném napětí a zvyšuje tím univerzálnost samotné řídicí jednotky.

3.11 Komunikační modul

Komunikační modul jsem koncipoval zcela samostatně mimo desku řídicí jednotky. Měl jsem k tomu hned několik důvodů. Prvním důvodem je, že není potřeba za všech okolností napájet komunikační modul v případě, že komunikace s PC není nutná. Druhým důvodem je možnost změnit typ rozhraní bez HW zásahu do řídicí jednotky. Je tak třeba možná záměna již obstaroží RS232 například pomocí FTDI čipu za USB, případně za RS485 či RS422. Třetím důvodem je pak možnost modul používat tam, kde je to zrovna potřeba, a ušetřit tak výdaje

na dalších projektech. Proto je zde požadavek na širší napájecí rozsah.



Obrázek 6: Návrh desky komunikačního modulu pro RS-232E

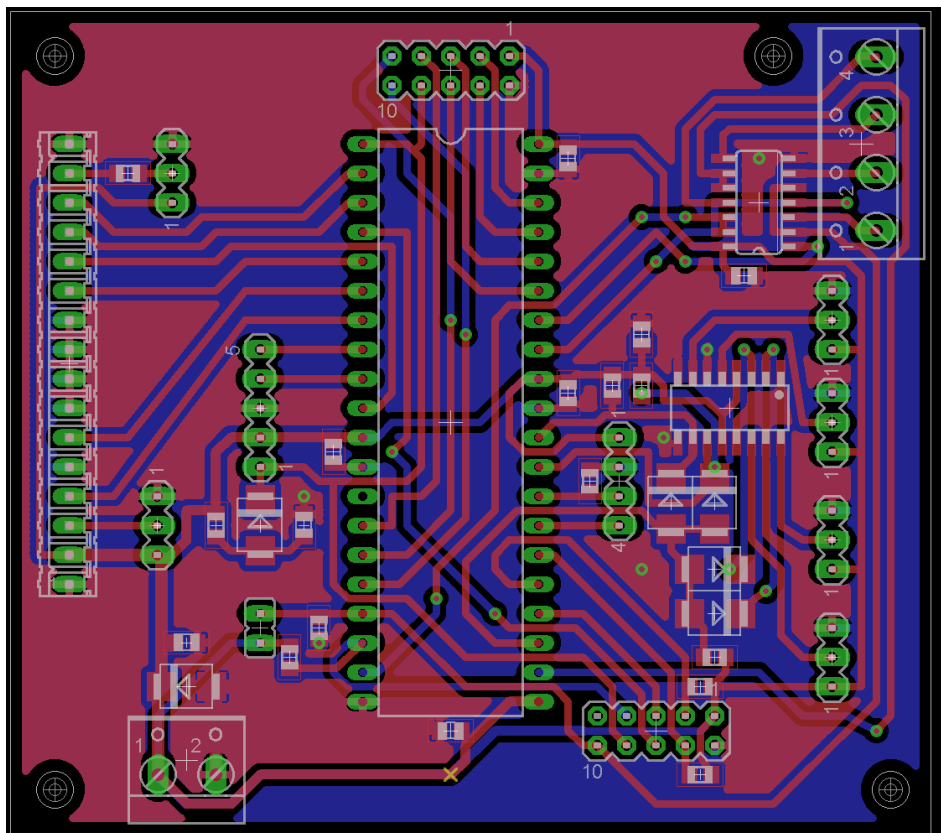
Samotný modul jsem pak navrhl tak, aby splňoval výše uvedené požadavky. Pro širší možnosti použití je komunikační modul vybaven čipem MAX3243E, který umožňuje provoz jak v pásmu LTTL, tak v pásmu TTL. Napěťový rozsah tak činí 3–5,5V. Pro ochranu proti přepětí je pak vybaven zenerovou diodou se zlomem na hladině 5,6V. Kvůli možnému použití v jiné aplikaci je navíc vybaven kompletním rozhraním RS-232E včetně řízení toku, i když je v dnešní době nepravděpodobné použití kompletního portu. Pro účely použití v takto širokém napájecím spektru bylo nutné zajistit signalizaci na napětí nezávislou (v mezích napájecího napětí linkového driveru). Z tohoto důvodu lze najít na desce i lineární stabilizátor napětí, který slouží pouze pro signalizaci. V rámci signalizace se jedná pouze o signalizaci vadných napěťových úrovní a signalizaci připojeného napájecího napětí.

3.12 Původní návrh

U původního návrhu jsem vycházel zcela z modulární koncepce. To oproti finální podobě znamená oddělení dvou modulů na samostatné desky plošných spojů, konkrétně se jedná o modul hodin reálného času a modul silového výstupu. U modulu silových výstupů by se pak patrně jednalo o samostatné relé umístěné na DIN lištu. Pro modul hodin reálného času jsem již potřebný návrh modulu vyhotovil. I tak zde byly integrovány tři z celkového počtu deseti modulů.

Další změnou byla i absence zvukové signalizace na desce řídicí jednotky. S tou bylo počítáno původně na modulu ovládání. Ovládání bylo totiž původně navrhováno bez maticové klávesnice pouze s kolečkem a potvrzovacím tlačítkem. Z důvodu snadnějšího zadávání delších čísel, však vedoucí rozhodl, že mám do návrhu maticovou klávesnici zabudovat. To pak vedlo k již několikrát zmiňovanému nedostatku vstupně/výstupních pinů. Tím byla například

způsobena absence rozhraní SPI ve finálním návrhu, jelikož piny SS1 a SCK1 musely být použity k jiným účelům (zvuková signalizace a silový výstup).



Obrázek 7: Původní návrh řídicí jednotky

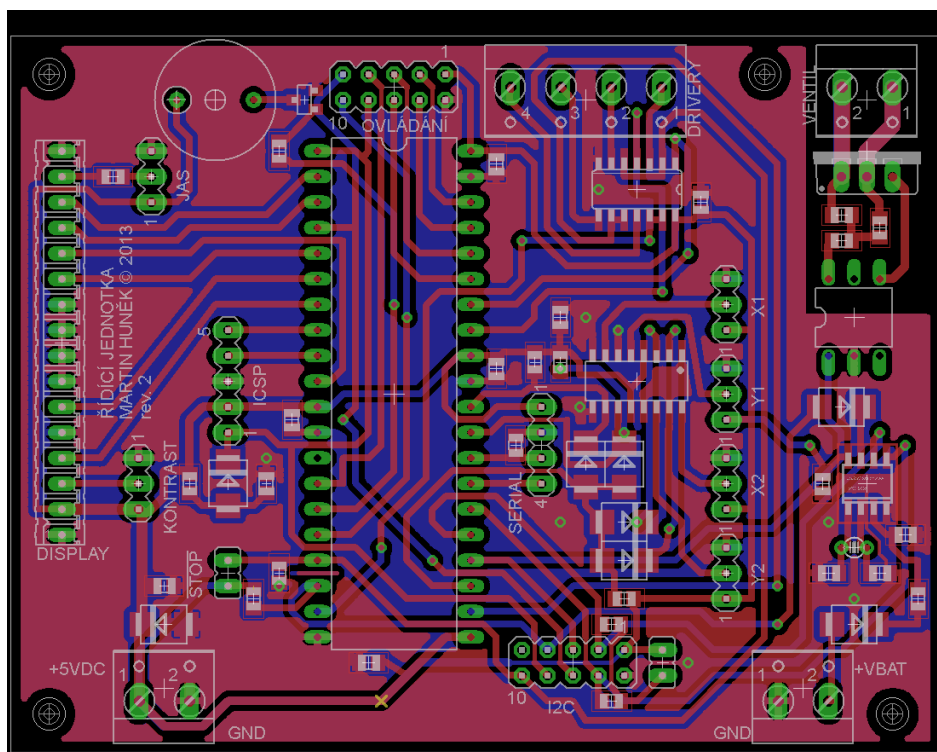
Po poradě s vedoucím práce jsem dospěl k názoru, že systém je dělený přespříliš a tak došlo k postupné integraci těchto dvou modulů. Hlavním důvodem této integrace byla příliš rozsáhlá kabeláž. Ta je pak ze zkušenosti vedoucího zdrojem problémů a tudíž by jejím zjednodušením mělo dojít ke snížení možné poruchovosti.

Finální verzi jsem pak tedy mírně upravil. Původní verze by byla rovněž funkční, ale integrace zmíněných modulů ve smyslu odstranění možných zdrojů poruch jistě práci prospěla. Naopak však znamenala obsazení dalších vstupně výstupních pinů a modul RTCC se stal nedílnou součástí práce, zatímco předtím byl pouze částí volitelnou.

3.13 Konečný návrh

Jak jsem již zmínil výše, konečným návrhem je kompromis mezi samostatnými moduly a kompaktním celkem. Tím, že toto řešení původně vychází z modulárního, jsou zbytky tohoto přístupu patrné na rozložení součástek na návrhu desky řídicí jednotky. U některých součástek by chaotičtější uspořádání nezávislé na předchozích modulech mohlo ušetřit nějaké místo, ale například u silového modulu by to bylo silně kontraproduktivní. U vedení síťového napětí je

totiž potřeba jiná velikost izolačních mezer a navíc rozlitá měď je u těchto obvodů nevhodná. Krom toho je umístění po jednotlivých modulech intuitivnější a vzhledem k tomu, že už jsem měl samostatné moduly vytvořeny, i méně pracné.



Obrázek 8: Finální verze návrhu řídicí jednotky

Na návrhu je možné si všimnout i poměrně tlustých cest. Ty jsou povětšinou taženy s tloušťkou 32 mil (cca. 0,6 mm), to by mělo dle IPC-2221 umožnit bezpečně přenést cca. 750 mA při nárůstu teploty o pouhý 1 °C v běžném prostředí. Izolační mezery mají stejnou šíři a umožňují pulzy maximálního rozdílového napětí 150 V (nekryté spoje do 3050 m n. m.), 50 V (nad 3050 m) a 300 V (kryté spoje). U osazené desky je to pak bez krytí spojů maximálně 100 V. U silového výstupu je pak šířka spoje 60 mil (1,524 mm) a mezera 0,9 mm. To vzhledem ke dvojitému vedení silových spojů umožňuje bezpečné vedení 300 VAC/10 A při nárůstu teploty o 30 °C.

Cesty napájení jsou vedeny takřka všechny z jednoho bodu, s šířkou z počátku 40 mil, později 32 mil. Jinými slovy s maximálním výstupním výkonem zdroje 5 W na 5 V, tedy 1 A výstupního proudu by nemělo nikde na desce plošných spojů dojít k ohřátí spoje o více než 1 °C. Přičemž spotřebiče s významnějším odběrem jsou umístěny blíže zdroji. Tedy celý návrh se z pohledu proudové zatížitelnosti, maximálních rozdílových napětích a vedení napájecích signálů řídí doporučeními IPC-2221.

4. SW část řešení

V SW části řešení budu o poznání stručnější. Není to tím, že bych zde odvedl málo práce, ale spíše tím, že jsem při tvorbě HW přemýšlel i nad podobou programového řešení svěřeného úkolu. Klíčovou roli zde zejména odvedla přítomnost PWM modulu, který tvoří stěžejní bod celého programu. S jeho pomocí lze, jak i název napovídá, tvořit pulzně šířkovou modulaci, ale i realizovat pro mě důležitější změnu frekvence. Toho využívám u rozjezdu a zastavení motorů. To je dané jejich rozdílným krouticím momentem v závislosti na rozdílu aktuální frekvence a nově požadované frekvence. S tím, že čím je rozdíl markantnější, tím více točivý moment klesá.

Dalším důležitým prvkem MCU je mechanismus přerušení. Ten využívám hlavně v podobě externích přerušení. Externí přerušení je u daného typu ve třech úrovních. První (INT0) je určeno pro funkci blokování pohonů, další (INT1) pro signalizaci koncových spínačů v případě poruchy a možnou signalizaci výchozí polohy.

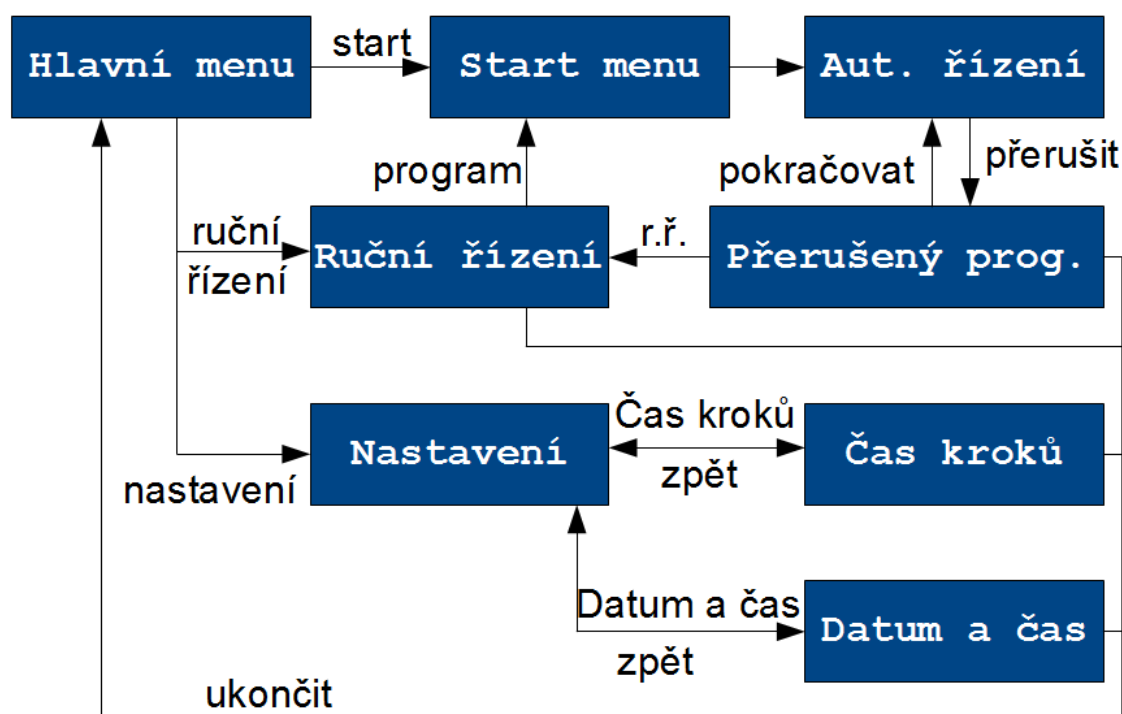
Celý program je realizován v programovacím prostředí od společnosti MikroElektronika mikroC for dsPIC/PIC24 v poslední verzi (v době psaní 6.0.0). Toto prostředí jsem využil zejména kvůli dobře propracovaným a zdokumentovaným knihovnám, včetně příkladů a volné licence, omezené pouze délkou programového kódu.

4.1 Ovládání

Jak jsem již uvedl výše v HW části, v práci se zabývám pouze lokálním řízením. Vzdálené řízení ponechávám otevřené do budoucna. V této kapitole se budu zabývat jak strukturou uživatelského prostředí, tak návaznostmi na program, uživatelské prvky a další úrovně prostředí.

4.1.1 Struktura uživatelského prostředí

Z komplexnosti zadaného úkolu vyplynula potřeba víceúrovňového uživatelského prostředí. Bylo by však neúčelné budovat na takovémto stroji víceúlohový či dokonce víceuživatelský „operační systém.“ Takové řešení by nejenže bylo zcela zbytečné, dokonce by komplikovalo časově kritické operace a bylo by nutné řešit mechanismus zámků. Nehledě na to, že zvolené MCU nedisponuje privilegovaným režimem, takže by bylo pro funkční oddělení úloh potřeba použít jiné MCU.



Obrázek 9: Struktura uživatelského prostředí

Na předešlém obrázku je vidět, jakým způsobem je organizováno uživatelské prostředí. Jak začátek, tak ukončení v jakékoliv části programu vede do hlavního menu. V hlavním menu je možné vypnutí řídicí jednotky přerušením napájení. Řídicí jednotka totiž nemá možnost vypnutí svého vlastního zdroje, tudíž není možné realizovat softwarové vypnutí a vlastní menu pro vypnutí by postrádalo smysl. Jinak je struktura organizovaná do třech sekcí, z nichž bude za běžného provozu přístupováno jen do sekce automatického řízení.

Ruční řízení bylo do struktury uživatelského prostředí zařazeno z důvodu možné mimořádné události. Takovou mimořádnou událostí by mohl být například požadavek na jinou tloušťku nanášeného cinu, či snížená účinnost chemické lázně po delší odstavce. Rovněž jsem předpokládal možnost využití této sekce při ladění výrobního procesu.

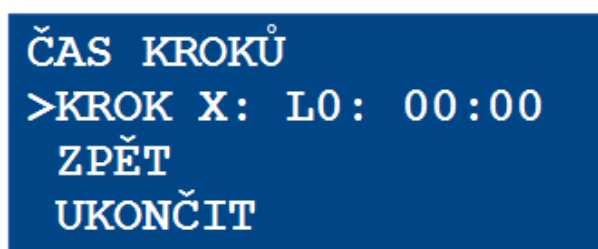
Sekce nastavení je oproti původnímu návrhu o něco redukována. V původním návrhu jsem předpokládal možnosti nastavení pozice jednotlivých lázní a jejich pořadí. Během vývoje jsem ale došel k závěru, že stroj se z hlediska konstrukce během provozu měnit nebude a technologický postup se beze změny obsahu lázní taktéž měnit nebude. To mě vedlo k závěru, že nastavování těchto parametrů obsluhou není nutné. Dokonce by se dle mého názoru mohlo jednat o nežádoucí element, který by mohl vést k chybám způsobeným obsluhou a dokonce k vyřazení stroje po dobu jeho znovunastavení. Vyřazením změn těchto parametrů má pak ještě jeden pozitivní vliv a to zřehlednění celého menu. To se pak vždy vejde na plochu jednoho

displaye.

Opuštění jednotlivých položek menu jsem pak koncipoval ve většině případů jako dvoustupňové. Mělo by to přispět k větší efektivitě při obsluze. Ta potom nemusí například při prvotním spouštění přístroje z nastavení přecházet zpět do hlavního menu, ale může hned pokračovat v nastavování jednotky, s tím že zůstala zachována možnost opustit nastavení, a to z jakékoliv položky. Dalším příkladem je pak opuštění automatického řízení při běhu programu. To umožňuje v případě nechtěného stisku tlačítka v programu pokračovat v místě přerušení.

4.1.2 Nastavení času jednotlivých kroků

U tohoto nastavení se předpokládá největší četnost úprav, rovněž nemusí být zcela intuitivní. Jednalo se totiž o značný kompromis mezi místem potřebným k takovému nastavení a přehledností. Já jsem upřednostnil možnost mít na jednom displeji vše, co je spojené s tímto nastavením. To znamenalo umístění jednotlivých kroků v seznamu přes sebe.

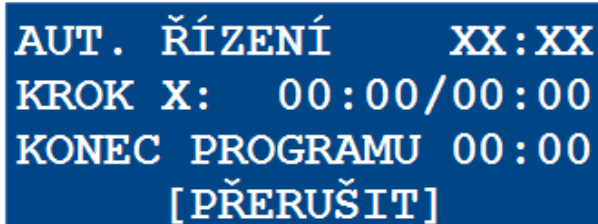


Obrázek 10: Nastavení času jednotlivých kroků

Při nastavování je nutné nejdříve zvolit pomocí kolečka možnost KROK, poté opět za pomoci kolečka vybrat číslo příslušného kroku, který chci modifikovat. Po potvrzení čísla kroku budou změněny nejdříve minuty a poté sekundy, které panel v příslušné lázni stráví. Po potvrzení sekund dojde k přepnutí na volbu mezi krokem a možnostmi opuštění nastavení. Pro nastavení čísla kroku a času v lázni je možné rovněž použít maticovou klávesnici, která byla do návrhu řídicí jednotky zakomponována zvláště díky této položce nastavení. Bylo tak učiněno z obavy, že by nastavování pomocí kolečka nebylo dostatečně rychlé.

4.1.3 Obrazovka automatického řízení

Jedná se o část uživatelského prostředí, která bude na stroji vidět velmi často. V otázce vzhledu a ovládání zde není téměř co popisovat. Zajímavější pohled je ovšem na tuto část z hlediska věcí, které musí běžet na pozadí.



AUT. ŘÍZENÍ XX:XX
KROK X: 00:00/00:00
KONEC PROGRAMU 00:00
[PŘERUŠIT]

Obrázek 11: Obrazovka automatického řízení

Idea je taková, že v pravém horním rohu je umístěn aktuální čas. Ten jsem zde umístil proto, aby bylo možné ověřit, že má jednotka správně nastavené své vnitřní hodiny a případné absolutní časy se tedy shodují se skutečným časem. Dalším údajem, který je zde vidět, je aktuální krok, ve kterém se stroj nachází. Záměrně jsem zde neuváděl celkový počet kroků, ten je z pohledu výrobní technologie konstantní a tedy pro obsluhu důvěrně známý. Dále je zde možné vidět dva časy. Prvním je čas do dokončení kroku a druhým je nastavený čas na daném kroku. Posledním údajem je čas, kdy bude výrobní proces dokončen.

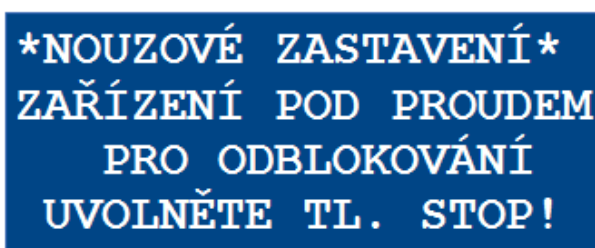
Z pohledu toho, co musí běžet na pozadí, se tedy nejedná vůbec o jednoduchou úlohu. O aktuální čas se musí starat obvod RTCC, který komunikuje po I²C sběrnici. Čas jednoho kroku musí být uložený v nevolatilní paměti, aby při ztrátě napájecího napětí nedošlo i ke ztrátě uživatelského nastavení. Zbývajíc čas pak musí být uložen ve formě absolutního času, tak aby při ztrátě napájení nebyl ztracen spolu s číslem kroku a aktuální pozicí. V tomto případě ale není vhodné používat kvůli opotřeбенí nevolatilní paměť typu EEPROM, ale spíše paměť volatilní typu SRAM umístěnou v obvodu RTCC a bateriově zálohovanou. Tím je zajištěno, že si bude stroj pamatovat vždy to místo v programu, na kterém skončil, a zároveň čas, který mu v lázni zbývá.

4.2 Mechanismus nouzového zastavení

Po stránce HW jsem se tomuto mechanismu věnoval již dostatečně v příslušné kapitole. Ted' bych se tedy věnoval tomuto mechanismu po stránce softwaru. Jistě není nutné připomínat způsoby, jakými je možné takové nouzové zastavení realizovat. Sice se teoreticky nabízí neustálé ověřování stavu příslušného pinu, ale u takto kritické aplikace je to krajně nevhodné. Bylo využito mechanismu přerušení s nejvyšší možnou prioritou. Je totiž zcela nezpochybnitelné, že bezpečnost obsluhy zasluhuje první místo v rámci cílů automatizace jakéhokoliv výrobního procesu.

Nutné je však připomenout, že čistě softwarové řešení nemusí zcela tomuto účelu postačovat. Sám jsem se s takovýmto stavem během testování setkal při experimentu, kdy jsem

zjišťoval chování MCU pod hranicí napětí udávanou výrobcem jako minimální přípustnou. Pod pásmem přípustného napětí existuje moment, kdy vstupy MCU nereagují na změnu korektně a nevytváří externí přerušení. To způsobí nefunkčnost softwarové blokace výstupu k motorům. Rovněž je ale zachovaná funkce PWM generátoru, který na těchto výstupech vytváří signál a otáčí motory. To by v konečném důsledku mohlo při pomalejším a pevném převodu vést ke zranění obsluhy. Aby k této situaci nemohlo dojít, je signál blokován hradlem. Samotné blokování vstupem ENABLE na drivech není dostatečné, protože při jeho nezapojení je driver v činnosti! Blokace činnosti je totiž zajištěna přivedením logické nuly na tento vstup. Nejedná se tudíž o vstup ENABLE v pravém slova smyslu, ale spíše o vstup DISABLE aktivní na nulu.



Obrázek 12: Obrazovka nouzového zastavení

V případě, že k nouzovému zastavení dojde, je uživatel na tento stav upozorněn způsobem, který vidíte na obrázku. Rovněž je varován tím, že je zařízení pod proudem. Toto varování je zde zobrazeno kvůli tomu, aby v tomto režimu nebyly prováděny žádné zásahy do zapojení v dobré víře, že motory nejsou pod napětím. Po uvolnění dojde buď k přepnutí do hlavního menu anebo do menu „přerušovaný program“ v závislosti na tom, zda probíhala výroba či nikoliv.

4.3 Memory management

MCU obsahuje tři druhy paměti - paměť programu, která je nevolatilní typu FLASH, nevolatilní paměť dat typu EEPROM a volatilní paměť dat typu SRAM (nezálohovaná baterií). Řídící jednotka je navíc vybavena obvodem RTCC, který navíc obsahuje další dva druhy paměti. Prvním typem je volatilní paměť typu SRAM, zálohovaná baterií, a druhým typem je nevolatilní paměť typu EEPROM. Tyto možnosti pak nutí k zamyšlení o využití paměťového prostoru a trvanlivosti informací.

Jako informace stálé a tedy uložené v paměti programu (definované pomocí direktiv překladače globálně v celém programu), jsem vyhodnotil rychlost náběhu a doběhu motorů, velikost rozdílů frekvencí v jednotlivých skocích, časy jednotlivých skoků, maximální otáčky motoru, pozice jednotlivých lázní, pořadí lázní ve výrobním procesu a zapojení periférií. Lze

totiž předpokládat, že jak mechanické vlastnosti, tak zapojení se nebudou příliš měnit a zůstanou během času konstantní.

Mezi informace proměnné, ale s malou frekvencí změn, s potřebou zachování jsem zařadil nastavené časy v jednotlivých krocích. Je žádoucí, aby si řídící jednotka tyto časy pamatovala i po ztrátě napájení a je možné, že zůstanou v platnosti po dobu delší, než je životnost baterie. Navíc se nepředpokládá tak častá změna, aby kvůli ní došlo ke zničení příslušných paměťových buněk. Jedná se tak o typický příklad dat, která mohou být uložena do paměti typu EEPROM. Použil jsem pro ně paměť integrovanou v RTCC z důvodu toho, že je mnohem menší pravděpodobnost, že by vlivem poruchy nebo neodborného zásahu obsluhy došlo k poškození RTCC a při výměně MCU zůstanou tato data zachována.

Data, která jsem vyhodnotil jako často proměnná s požadavkem zachování při poruše, jsem umístil do zálohované paměti RTCC typu SRAM. U této paměti totiž nedochází k „vyhoření“ zatěžovaných paměťových buněk a díky baterii umožňuje uchování informací při poruše. Rovněž je zde výhoda v tom, že paměť není organizována do schránek a je tedy možno zapisovat naráz větší objem dat, než je velikost stránky EEPROM (u RTCC 64 bitů). V této paměti proto lze nalézt uloženy údaje o poloze stroje, absolutní čas ukončení kroku, číslo kroku a údaj o běžícím programu.

Poslední skupinou dat pak jsou informace o běžící instanci. Takovéto informace jsou co se týče hodnoty postradatelné a není je tedy třeba uchovávat při poruše. Logickou volbou pro jejich umístění je tedy paměť SRAM v MCU. Jediné informace, které zde primárně uloženy nejsou, jsou informace o probíhající výrobě. Není však nutné dlouhodobě uchovávat informace o aktuální poloze uživatele v menu. Uživatel jistě bude schopen program opětovně spustit z menu přerušného programu. Bude tak i zároveň upozorněn na přítomnost výpadku napájení.

Tabulka 1: Organizace paměti

Typ paměti	Flash MCU	SRAM MCU	EEPROM MCU	SRAM RTCC	EEPROM RTCC
Uložená data	Mechanické vlastnosti stroje	Data o poloze v menu Provozní proměnné	Nevyužito, možné stejné jako v RTCC	Poloha stroje Časy v kroku Aktuální krok Běžící program	Časy kroků

4.4 Ovládání obvodu RTCC

Z hlediska ovládání obvodu RTCC bylo nutné se zaměřit na způsob komunikace s tímto zařízením. Tím, že dochází ke komunikaci na sdílené sběrnici I²C, která má navíc sériový přenos, bylo nutné implementovat komunikační protokol. Při řešení jsem měl na výběr buď zvolit aplikačně závislou implementaci anebo aplikačně nezávislou. Zvolil jsem aplikačně nezávislou a to i s vědomím toho, že je časově více náročná, ale zato bude možné takto vytvořený kód použít i v jiných aplikacích za použití stejného vývojového prostředí (vytvořená knihovna je závislá na knihovně pro komunikaci na I²C sběrnici). Tato závislost umožňuje přenositelnost na jiný typ MCU se stejným počtem I²C kanálů.

Knihovna implementuje základní funkce obvodu MCP7941x jako jsou nastavení a přečtení aktuálního času, nastavení alarmů a přístup do integrované paměti. Pro účely alarmů pak ještě bylo nutné implementovat výpočet dnů v týdnu, protože porovnání alarmu probíhá i přes tento údaj. Tento algoritmus jsem částečně převzal z webové stránky „C Programming Tutorial“ uvedené v citované literatuře. Algoritmus jsem musel upravit pro použité struktury a začátek týdne (v algoritmu neděle, u nás pondělí).

5. Shrnutí nákladů

Z hlediska finanční náročnosti jsem rozpočítal náklady vždy na jeden kus dané desky. Do cen jsem nezahrnul svou vlastní práci, i když se bezesporu o náklad jedná a v případě posuzování vhodnosti výběru způsobu řízení výrobního procesu by bylo nutné jej do úvah zahrnout. V tabulkách jsou uvedeny i ceny za výrobu desek plošných spojů, ty byly však vyráběny interně.

Tabulka 2: Cena realizace jedné řídicí jednotky (ceny v CZK bez DPH)

Typ:	Součástka:	Množství:	Cena/ks:	Cena
MCU	DSPIC30F3014-20I/PT	1	99	99
Hradlo	74ABT08D	1	11	11
RTCC	MCP79410-I/SN	1	16	16
Krystal 32,768kHz	32.768K-20PPM-S	1	4	4
Display znakový 4x20	RC2004AB	1	223	223
Optočlen	ACSI-6420-00TE	1	148	148
Patice PDIP40	ICVT-40P	1	3	3
Patice DIP6	ICVT-6P	1	1	1
Triak	BT139-800	1	11	11
Tranzistor	BC817-25	1	1	1
Svorkovnice	NINI 2PIN 5mm	5	6	30
Diody	SK110	6	1	6
Schottkyho dioda	1SMB5919BT3G	1	2	2
Zenerova dioda	1SMB5931BT3G	1	22	22
Lámací lišta 1x50 2,54mm	ZL201-50G	1	32	32
Lámací lišta 2x10 2,54mm	ZL202-20G	1	3	3
Odpory	Pouzdro 0805	1	2	2
Kondenzátory	Pouzdro 0805	1	4	4
Výroba DPS		1	460	460
Celkem:				1078

Tabulka 3: Cena realizace jednoho komunikačního modulu (ceny v CZK bez DPH)

Typ:	Součástka:	Množství:	Cena/ks:	Cena
Budič RS-232	MAX3243EIPW	1	13	13
Stabilizátor napětí	78L02	1	2	2
Konektor D-SUB9	L717SDE09P1ACH	1	28	28
Zenerova dioda	1SMB5931BT3G	1	22	22
LED diody	Pouzdro 0805	1	3	3
Odpory	Pouzdro 0805	1	1	1
Kondenzátory	Pouzdro 0805	1	2	2
Lámací lišty	2,54mm	1	4	4
Výroba DPS		1	230	230
Celkem:				305

Tabulka 4: Cena realizace jednoho zdroje (ceny v CZK bez DPH)

Typ:	Součástka:	Množství:	Cena/ks:	Cena
Spínaný zdroj	DC5W12/5	1	357	357
Transformátor	DUS-9.8/6.8/7.0	1	48	48
Dioda	STTH4R02U	1	5	5
Kondenzátory	Pouzdro 1206	1	10	10
Lámací lišty	2,54mm	1	4	4
Výroba DPS		1	218	218
Celkem:				642

Tabulka 5: Cena realizace jednoho řídicího modulu (ceny v CZK bez DPH)

Typ:	Součástka:	Množství:	Cena/ks:	Cena
Otočný ovladač	PS1010-20	1	43	43
Maticová klávesnice	KB304-PAW	1	62	62
Tlačítko	SDT21LP	1	43	43
Diody	SK110	2	1	2
Lámací lišty	2,54mm	1	3	3
Výroba DPS		1	109	109
Celkem:				216

Jak je z uvedených tabulek vidět, cena kompletní řídicí jednotky včetně komunikačního modulu vychází zhruba na 2290 CZK bez DPH. V této ceně nejsou zahrnuty propojovací kabely, konektory, drivery a motory.

Díky minimálním objednatelným násobnostem pak celková cena objednávaných součástek stoupla na zhruba 3320 CZK. Desky se nakonec vyráběly ve dvou vyhotoveních, takže i cena na výrobu všech desek stoupla na cca. 2030 CZK. Všechny uvedené ceny jsou bez DPH a platné v době nákupu. Dodavatelem součástek byla povětšinou společnost TME, jejichž katalog jsem při výběru součástek používal.

Závěr

V rámci této bakalářské práce byla ve shodě se zadáním realizována řídicí jednotka ke stroji na provádění cínování desek plošných spojů za pomoci imerzního cínu. Tato řídicí jednotka dokáže běžet samostatně bez nutnosti nadřazeného řídicího systému nebo počítače s tím, že pokud by bylo v budoucnu z jakéhokoliv důvodu nutné nadřazený systém doplnit, bude tato změna možná pouhou změnou řídicího softwaru při možnosti zachování abstrakce od nízkoúrovňového řízení jednotlivých motorů. Důvodem možné nutnosti nadřazeného řídicího systému může být do budoucna například vzdálené řízení při současném doplnění ovládání vytápění lázní.

Dále bylo v rámci práce realizováno i několik dalších obslužných desek. Jednalo se o desku spínaného zdroje s odrušovacím filtrem, komunikační modul pro sériovou linku a panel ovládání. To vyplývá ze zvolené modulární koncepce. V otázce koncepce došlo k mírné neshodě mezi mnou a vedoucím, kdy vedoucí prosazoval spíše kompaktní celek, zatímco já jsem prosazoval onu modulární koncepci. Musím uznat, že pohled vedoucího má jistě své opodstatnění, stejně jako pohled můj. Pokud bych tedy byl znovu postaven před otázku návrhu, zvolil bych více kompaktní koncepci, minimálně integraci ovládacího panelu do desky řídicí jednotky. Tuto menší neshodu беру jako jistou daň za samostatný přístup k zadanému úkolu.

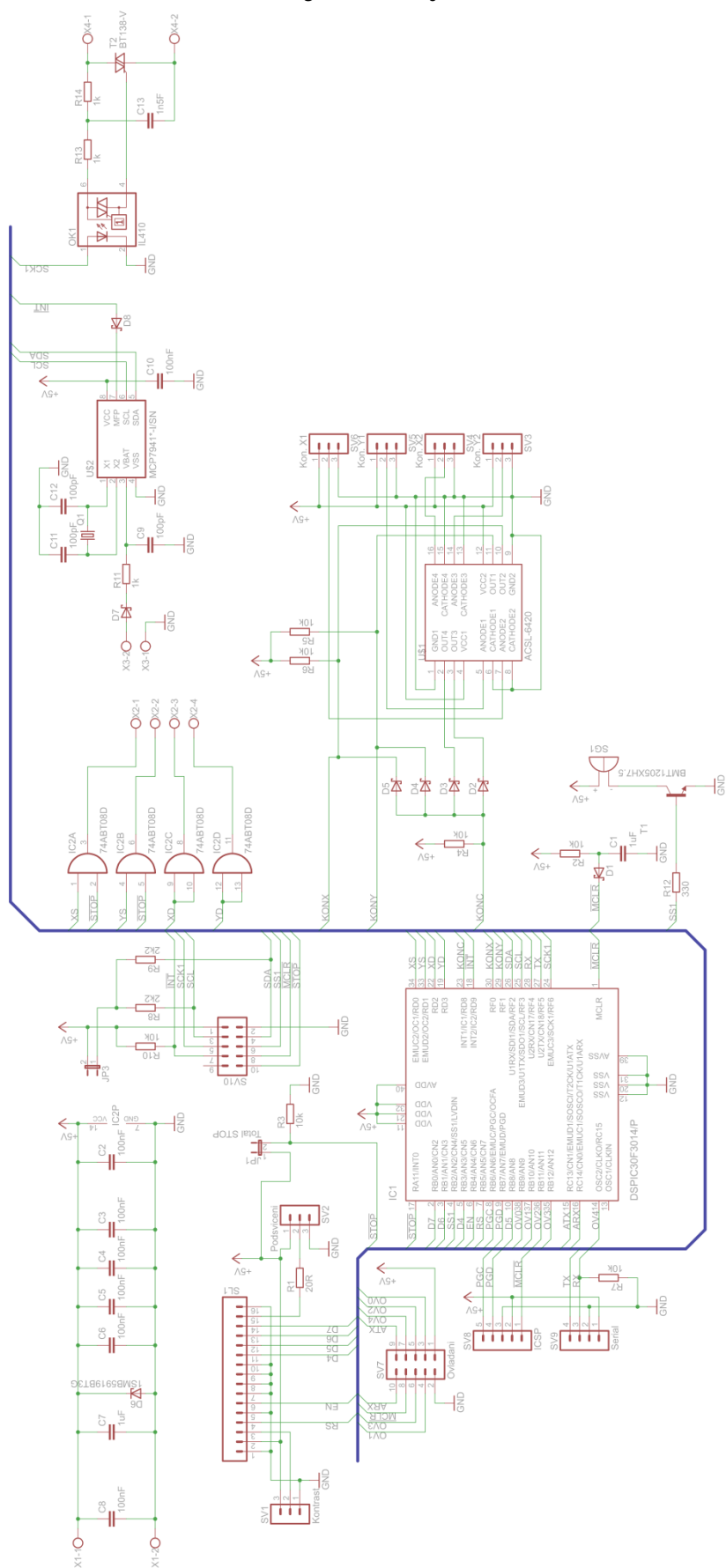
V otázce hardwaru byla práce realizována tedy v plném rozsahu a není zde tedy žádná překážka v jejím nasazení do provozu. Všechny hardwarové komponenty navíc byly navrhovány a kontrolovány pomocí normy IPC-2221 a jsou v naprosté shodě s jejími doporučeními (kromě těch, které se týkají jiné než použité výrobní technologie, takové nebyly kontrolovány).

Řídicí jednotka byla nejprve osazena a zprovozněna mimo stroj. Její odladění proběhlo v konečném zapojení s vybranými drivery a motory, za použití laboratorního zdroje (DIAMETRAL P230R51D), osciloskopu (GW INSTEK GDS-2072A) a funkčního generátoru (METEX MS-9150). Ověření funkčnosti probíhalo v součinnosti s vedoucím práce a konzultantem a bylo shledáno jako plně vyhovující. Nasazení na stroj je plánováno v průběhu května až června, po jeho mechanickém dokončení, které ale není náplní práce.

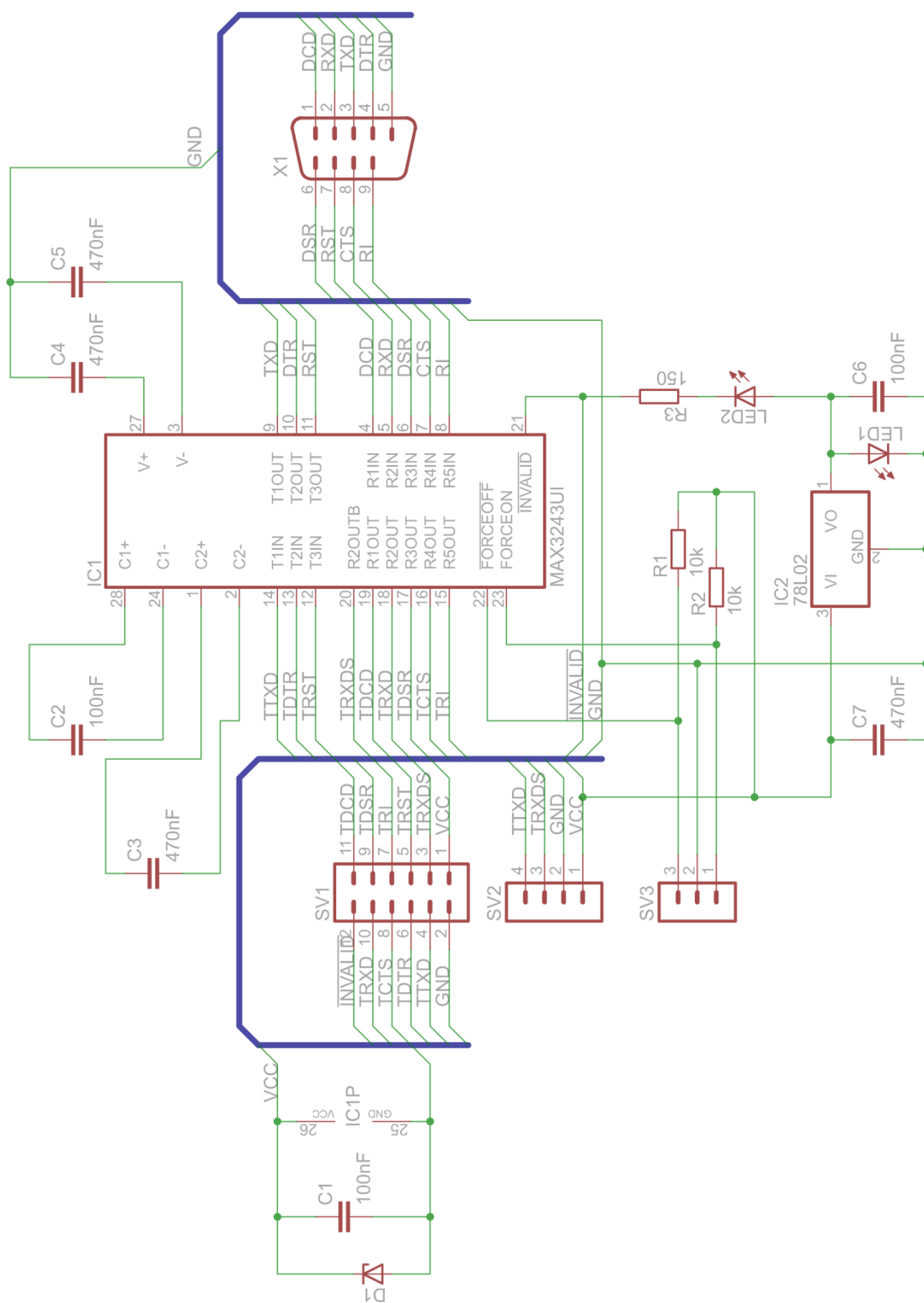
Citovaná literatura

1. **Plíva, Zdeněk a Drábková, Jindra.** *Metodika zpracování diplomových, bakalářských a vědeckých prací na FM TUL.* Liberec : TU v Liberci, 2007. ISBN:978-80-7372-189-3.
2. **Plíva, Zdeněk.** Soubor přednášek: Technická dokumentace. Liberec : TU v Liberci, 2010.
3. **Ormecon International.** *ORMECON(TM) CSN FF.* Ammersbek : Ormecon International, 2004.
4. **Huněk, Martin.** Řízení a automatizace technologické linky výroby DPS. [Online] 18. květen 2012. [Citace: 14. duben 2013.] <http://www.fm.tul.cz/~martin.hunek/PRJ/prace.pdf>.
5. **The Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits.** *IPC-2221: Generic Standard on Printed Board Design.* [Norma] Northbrook, Illinois, United States of America : The Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits, únor 1998.
6. **MikroElektronika.** MikroElektronika - mikroC PRO for dsPIC - Libraries. *MikroElektronika.* [Online] 2013. [Citace: 10. únor 2013.] <http://www.mikroe.com/mikroc/dspic/libraries/>.
7. **C Programming Tutorial.** Program to Find the Day of Given Date in C. *C Programming Tutorial.* [Online] 7. leden 2012. [Citace: 20. duben 2013.] <http://cprogramming.language-tutorial.com/2012/01/program-to-find-day-of-given-date-in-c.html>.
8. **TME.** Elektronické součástky, elektrotechnické výrobky. *TME.* [Online] TME Czech Republic s.r.o., 2013. [Citace: 25. únor 2013.] <http://www.tme.eu/cz/>.
9. **Semach.** Návod na chemický cín Ormecon. *Semach - výroba plošných spojů.* [Online] Semach - plošné spoje, 6. srpen 2004. [Citace: 6. květen 2012.] <http://www.semach.cz/povrchyl.html>.
10. **Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.** Stejnoseměrné stroje (motory). [Online] [Citace: 6. květen 2012.] http://homen.vsb.cz/~pav15/ss_motor.pdf.
11. **Petržílka, Leoš.** Soubor přednášek: Cvičení z technické dokumentace. Liberec : TU v Liberci, 2010.
12. **Ilett, Julian.** How to use intelligent L.C.D.s. *Everyday Practical Electronics.* 1997, Sv. 1997, 2.
13. **Microchip Technology Inc.** *dsPIC30F/33F Programmer's Reference Manual.* Chandler : Microchip Technology Inc., 2005.
14. —. Product Selector Tool. *Microchip.* [Online] Microchip Technology Inc., 2012. [Citace: 8. prosinec 2012.] <http://www.microchip.com/productselector/MCUProductSelector.html>.
15. **Panasonic Electric Works Europe AG.** *Application Note 030 Driving Triacs with Phototriacs.* Holzkirchen : Panasonic Electric Works Europe AG, 2006.
16. **Texas Instruments Incorporated.** *MAX3243E datasheet.* Dallas : Texas Instruments Incorporated, 2005.
17. **Leadshine Technology Company Limited.** *User's Manual for DM422C.* Shenzhen : Leadshine Technology Company Limited, 2009.
18. **Microchip Technology Inc.** *MCP7941x datasheet.* Chandler : Microchip Technology Inc., 2011.
19. **Avago Technologies.** *ACLS-6xx0 datasheet.* San José : Avago Technologies, 2009.
20. **SANYO DENKI CO., LTD.** *SANMOTIONS 2-Phase stepping systems F2.* Tokyo : SANYO DENKI CO., LTD., 2012.
21. **Philips Semiconductors.** *74ABT00 Product specification IC23 Data Handbook.* Sunnyvale : Philips Semiconductors, 1995.
22. **Vishay Semiconductor GmbH.** *IL410/ IL4108 datasheet.* Heilbronn : Vishay Semiconductor GmbH, 2004.

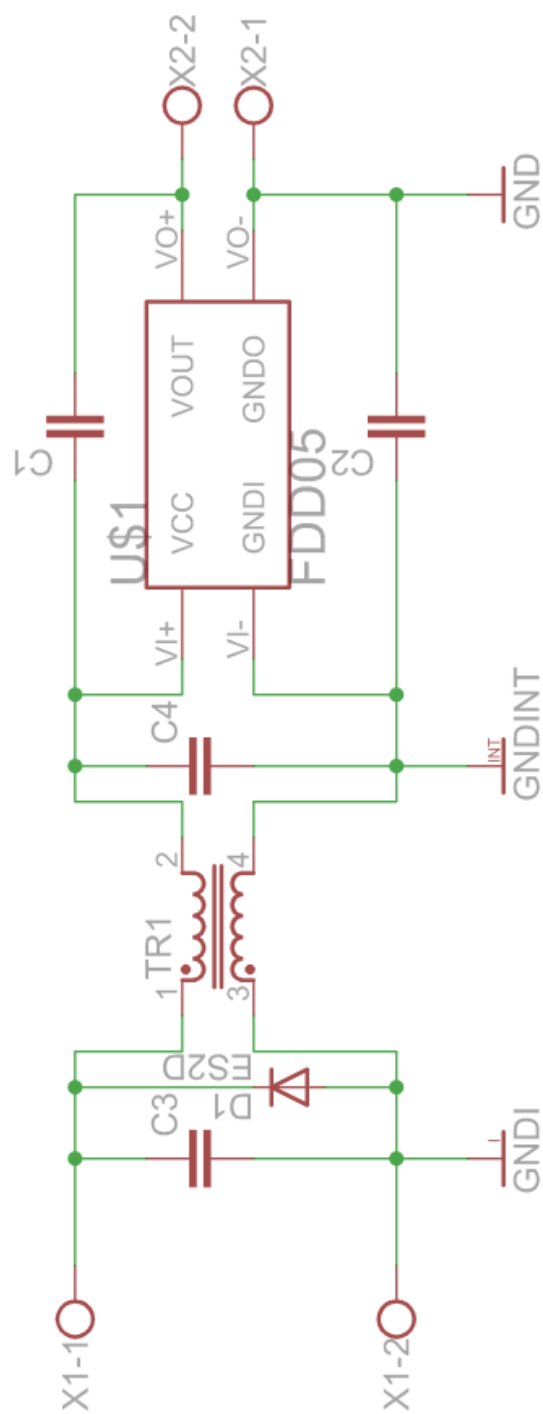
Dodatek A: Schéma řídicí jednotky



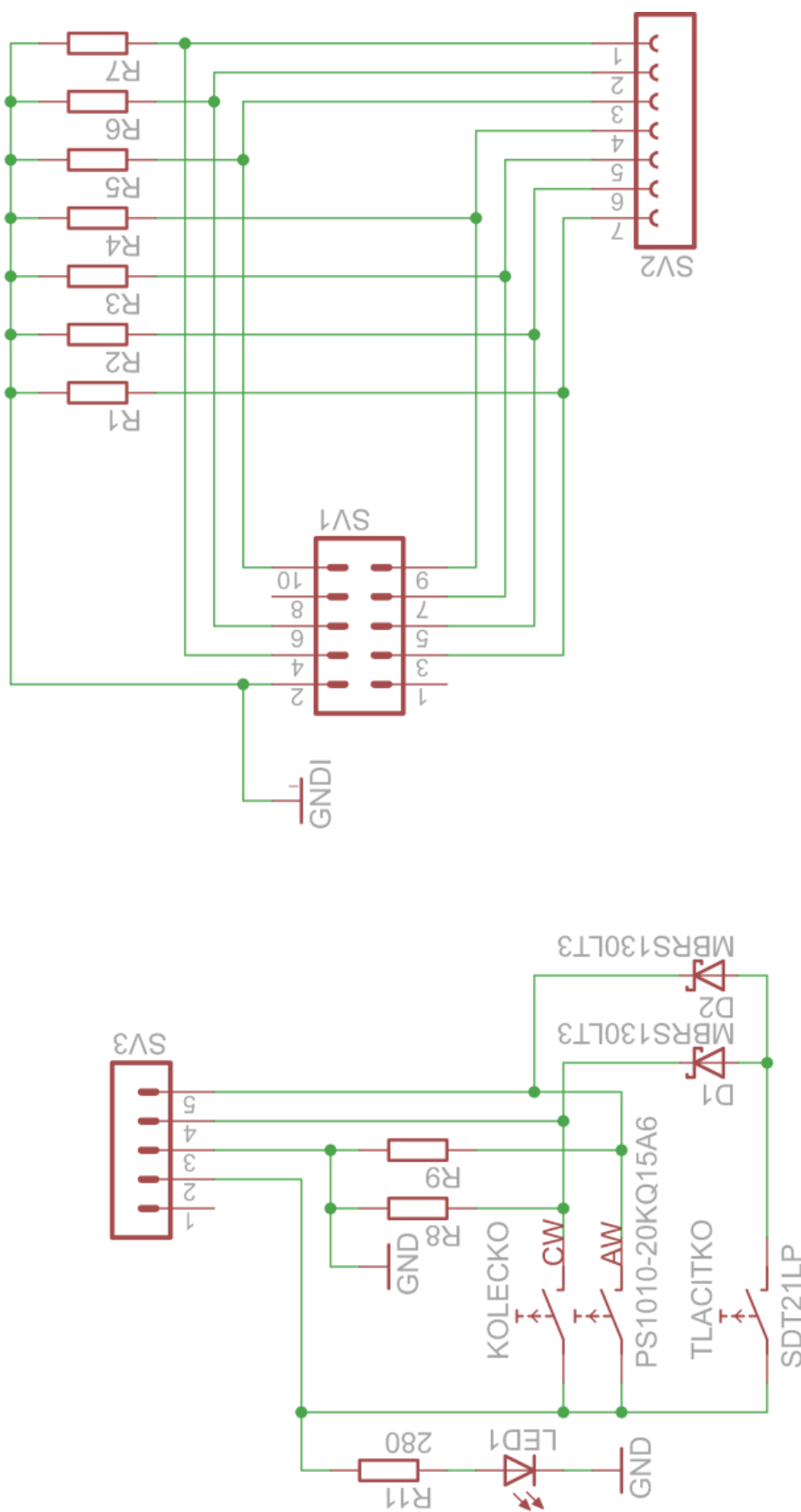
Dodatek B: Schéma komunikačného modulu



Dodatek C: Schéma zdroje pro řídicí jednotku



Dodatek D: Schéma ovládacího modulu



Dodatek E: Uživatelské rozhraní

HLAVNÍ MENU
>START
NASTAVENÍ
RUČNÍ ŘÍZENÍ

START MENU
ZAČÍT NA LÁZNI: X

NASTAVENÍ
>ČASU V LÁZNÍCH
DATUM A ČAS
UKONČIT

RUČNÍ ŘÍZENÍ
>OSA X OSA Y
LÁZEŇ NAHORU
PROGRAM UKONČIT

AUT. ŘÍZENÍ XX:XX
KROK X: 00:00/00:00
KONEC PROGRAMU 00:00
[PŘERUŠIT]

PŘERUŠENÝ PROGRAM
>POKRAČOVAT
RUČNÍ ŘÍZENÍ
UKONČIT

ČAS KROKŮ
>KROK X: L0: 00:00
ZPĚT
UKONČIT

DATUM A ČAS
>DATUM: 00.00.0000
ČAS: 00:00
ZPĚT UKONČIT

NOUZOVÉ ZASTAVENÍ
ZAŘÍZENÍ POD PROUDEM
PRO ODBLOKOVÁNÍ
UVOLNĚTE TL. STOP!